

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-156357
 (43)Date of publication of application : 08.06.2001

(51)Int.Cl.

H01L 43/08
 G01R 33/09
 G11B 5/39
 G11C 11/15
 H01F 10/16
 H01L 43/12

(21)Application number : 2000-265663
 (22)Date of filing : 01.09.2000

(71)Applicant : TOSHIBA CORP
 (72)Inventor : SAITO YOSHIKI
 NAKAJIMA KENTARO
 INOMATA KOICHIRO
 SUNAI MASAYUKI
 KISHI TATSUYA

(30)Priority

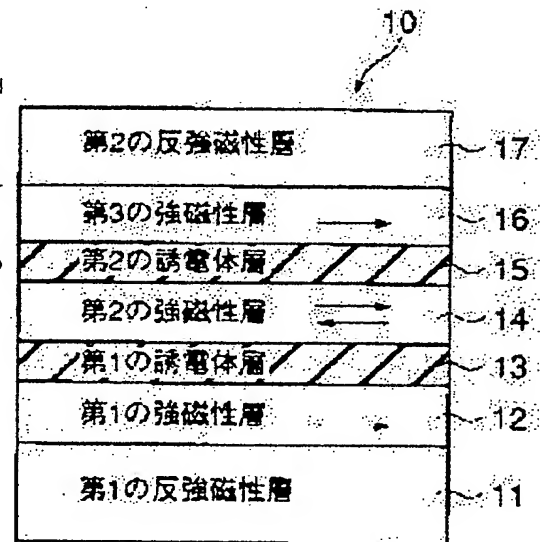
Priority number : 11262327 Priority date : 16.09.1999 Priority country : JP

(54) MAGNETO-RESISTANCE EFFECT ELEMENT AND MAGNETIC RECORDING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magneto-resistance effect element wherein the increase of an applied voltage for a desired output voltage value causes less decrease in magneto-resistance change ratio, no writing rotates the magnetic moment of a part of the magnetization adhesion layer for gradual drop of an output, and an inversion magnetic field is designed at will.

SOLUTION: A magneto-resistance effect element having a ferromagnetic double tunnel joint is provided where first anti-ferromagnetic layer 11/first ferromagnetic layer 12/first dielectrics layer 13/second ferromagnetic layer 14/second dielectrics layer 15/third ferromagnetic layer 16/second anti-ferromagnetic layer 17 are laminated. Here, the second ferromagnetic layer 14 of a free layer comprises a Co base alloy or a 3-layer film comprising Co base alloy/Ni-Fe alloy/Co base alloy, with first or third ferromagnetic layer applied with a tunnel current.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

た。しかし、この強磁性一重トンネル接合系では、所望の出力電圧値を得るために印加電圧を増やすと、磁気抵抗変化率がかなり減少するという問題がある (Phys. Rev. Lett. 74, 3273 (1995))。

【0004】また、強磁性一重トンネル接合を構成する一方の強磁性層に接して反強磁性層を設け、この強磁性層を磁化阻害層とした構造を有する強磁性一重トンネル接合素子が提案されている（特開平10-4227）。しかし、この強磁性一重トンネル接合素子でも同様に、所望のH/F電圧値を得るために印加電圧を高くすると、磁気抵抗変化率がかなり減少するという問題がある。

【0005】一方、 Fe/Ce/Fe/Ge/Fe とい
う層積構造を形成した強磁性二重トレンネル接合を有する
強磁性低効果素子には、スピン偏極共鳴トレンネル
効果により大きなMR変化が得られることが理論的に
予想されている (Phys. Rev. B56, 5484
(1997))。しかし、これらは低温 (8 K) での結
果であり、室温で上記のような現象が起こることは予想
していない。なお、この例では Al_2O_3 、 SiO_2 、
 AlN などの誘電体を用いていない。また、上記構造の
強磁性二重トレンネル接合素子は、反強磁性層でピンされ
た強磁性層がないため、MRAM等に使用すると何度か
の書き込みによって強磁性層の一部の磁気モーメント
が回転する結果、出力が徐々に低下するという問題があ
る。

【0006】さらに、磁性粒子を分散させた誘電体層を含む強磁性多重トンネル接合素子が提案されている (Phys. Rev. B56 (10), R5747 (1997); 応用磁気学雑誌23, 4-2, (1999); Appl. Phys. Lett. 73 (19), 282 (1998))。これらの素子でも20%以上の磁気抵抗変化率が得られるようになったことから、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用が期待されている。特に、強磁性二重トンネル接合素子は、印加電圧を印加しなくても磁気抵抗変化率の減少が小さく、反強磁性層を有し、しかし、これらの素子でも、反強磁性層でピンした強磁性層がないため、MRAM等に使用すると何度の書き込みによって磁化反転層の一部の磁気モーメントが回転する結果、出力が徐々に低下するという問題がある。また、埋設線からなる強磁性層を用いた強磁性二重トンネル接合素子 (Appl. Phys. Lett. 73 (19), 2829 (1998)) では、誘電体層に束ねられた強磁性層が Co/NiFe などの單層膜からなるため、電流効果によって磁気モーメントを反転させるための反転磁場を自由に設定できないという問題があるうえに、磁歪の大きい Co 等を加工作ると反強磁性層が火く

【0007】強磁性トンネル接合素子をMRAMなどに
 応用する場合、配線（ビット線またはワード線）に電流

を流すことにより、磁化が固定されない強い逆磁性層（フリー層、磁気記録層）に外部磁界（電流磁界）を印加して磁気記録層の磁化を反転させる。しかし、メモリのセルの縮小とともに磁気記録層の磁化の反転に要する磁界（スウィッチング磁界）が増加し、書き込みのために配

線に大電流を流す必要がある。このため、MRAMの配線容量の増大とともに、書き込み時の消費電力が増加する。例えば、1GB以上の高密度MRAMデバイスでは、電流磁界による書き込み時に配線に流す電流密度が10倍増大し、配線が溶融するという問題が生じるおそれもある。

【0008】このような問題に対処する1つの方法として、スピンの偏極したスピン電流を注入し、磁化反転を行う試みがなされている (J. Mag. Mag. Mat. 159 (1996) 11; J. Mag. Mag. Mat., 202 (1999) 157)。しかし、スピン電流を注入して磁化反転を行う方法では、TMR素子を通る電流密度が大きくなり、トンネル絶縁層が破壊されるおそれがある。しかも、スピン注入に適した素子製造は未だ提案されていない。

[0009]

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、所望の出力電圧値を得るために印加電圧を増やしても磁気抵抗変化率があまり減少せず、書き込みによって磁化固定層の一部の磁気分子層が回転して出力が徐々に低下する問題がなく、さらに強磁性層のモジュールを反転させるための反転磁場を自由に設計できるトンネル接合型の磁気抵抗効果素子および磁気記録素子を提供することにある。

【0010】本発明の他の目的は、メモリセルの縮小に伴う磁気記録層の磁化を反転させるための反転磁場の増加を抑制できるトンネル接合型の磁気抵抗効果素子および磁気記録素子を提供することにある。

【0011】本発明のさらに他の目的は、スピン注入に
適した構造を有し、配線およびTMR素子に流れる電流
密度を抑えることができる磁気記録素子およびこの磁気
記録素子への書き込み方法を提供することにある。

[0012]

【課題を解決するための手段】本発明の第1の磁気抵抗効果素子は、第1の反強磁性層／第1の強磁性層／第1の誘電体層／第2の反強磁性層／第2の誘電体層／第3の強磁性層／第3の反強磁性層が積層された強磁性二重トンネル接合を有する磁気抵抗効果素子であって、前記第2の強磁性層がC₆₀基金またはC₆₀基金/Ni-F_e合金/C₆₀基金の三層膜からなり、前記第1ないし第3の強磁性層にトンネル電流を流すことを特徴とする。

【0013】本発明の第2の磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層／第1の誘電体層／第2の強磁性層／第1の反強磁性層／第3の強磁性層／第2の誘電体層／第4の

強磁性層が隔開された強磁性二重トンネル接合を有する強磁性低次元分子であり、前記第1および第4の強磁性層がC₆₀基合金またはC₆₀基合金/Ni—F₂合金/C₆₀基合金の三層膜からなり、前記第1ないし第4の強磁性層にトンネル電流を流すことを特徴とする。

[0014] 木村明の第3の盛衰抵抗効果素子は、第1の反強磁性層／第1の強磁性層／第1の鉄電体層／第2の強磁性層／第2の反強磁性層／第3の強磁性層／第3の反強磁性層／第4の強磁性層／第4の反強磁性層が積層された強磁性二重トンネル構造を有する磁気抵抗効果素子であって、前記第1および第4の強磁性層または前記第2および第3の強磁性層がCを含む合金またはCo基合金／Ni-Fe合金／Co基合金の三層膜からなり、前記第1ないし第4の強磁性層にトンネル電流を流すことを特徴とする。

【0015】本発明の第4の強磁性体効果素子は、第1の強磁性層/第1の誘電体層/第2の強磁性層/第1の強磁性層/第2の強磁性層/第3の強磁性層/第4の強磁性層/第5の強磁性層/第5の強磁性層が積層された強磁性二重トンネル接合を有する強磁性体効果素子であって、互いに隣り合う第2、第3、第4の強磁性層が非磁性層を介して反強磁性結合しており、前記第1および第5の強磁性層がC₆₀非合金またはC₆₀非合金/Ni、Fe合金/C₆₀非合金の三明治からなり、前記第1ないし第5の強磁性層にトンネル電流を流すことを特徴とする。

【0016】本発明の磁気抵抗効果素子においては、前記Co基合金またはCo基合金/Ni-Fe合金/Co基合金の三層膜の膜厚が、1~5nmであることが好ましい。

【0017】本発明の磁気記録素子は、トランジスタまたはダイオードと、第1ないし第4のいずれかの磁気抵抗効果素子とを具備したことを特徴とする。

【0018】本発明の磁気記録素子は、トランジスタマ
たはダイオードと、第1または第3の磁気抵抗効果素子
とを具備した磁気記録素子において、前記磁気抵抗効果
素子の少なくとも1層上層の反強磁性層がビットラインの
一部を構成していることを特徴とする。

【0019】本発明の他の磁気記録素子は、磁化方向が固定された第1の磁性層と、第1の誘電体層と、磁化方向が固定可能な第2の磁性層と、第2の誘電体層とを有し、前記磁化方向が固定する2つの磁性層着層を有し、前記磁気記録層が、磁性層、非磁性層、および磁性層の3層層を含み、該3層層を構成する2つの磁性層が反強磁性結合しており、前記2つの磁性層着層の誘電体層に接する。前述の磁化が実質的に反平行であることを特徴とする。

【0020】本発明のさらに他の磁気記録素子は、磁化方向が固着された第1の磁化固着層と、第1の誘電体層と、磁化方向が反転可能な磁気記録層と、第2の誘電体層と、第2の磁化固着層とを有する。

層と、磁化方向が固着された第2の磁化固着層とを有し、前記磁気記録層が、磁性層、非磁性層、および磁性層の三層膜を構成する2つの磁性層が、反強磁性結合しており、前記第2の磁化固着層が、磁性層、非磁性層、および磁性層の三層膜を含み、該三層膜を構成する2つの磁性層が反強磁性結合しており、前記第1の磁化固着層の長さより長く形成されており、前記第2の磁化固着層の長さより長く形成されており、前記2つの磁化固着層の誘電率層に接する領域の磁化が実質的に反平行であることを特徴とする。

【0021】これらの磁気記録素子への書き込み方法は、磁気記録素子を構成する前記第1または第2の磁化固定層を通して前記磁気記録層にスピントルメント電流を供給するとともに、書き込み用の電流を流して前記磁気記録層に電流境界を印加することを特徴とする。

【0022】
【発明の実施の形態】以下、本発明に係る磁気抵抗効果素子の基本構造を、図1～図4を参照して説明する。
【0023】図1に本発明の第1の磁気抵抗効果素子を示す。この磁気抵抗効果素子10では、第1の反強磁性

層11/第1の強磁性層12/第1の誘電体層13/第2の強磁性層14/第2の誘電体層15/第3の強磁性層16/第2の反強磁性層17を積層して強磁性二重トンネル接合を形成している。この素子では、第1ないし第3の強磁性層3にトンネル電流を流す。この素子では、第1および第3の強磁性層12、16がピン層（磁化固定層）、第2の強磁性層14がフリー層（MRAMの構成には磁気記録層）である。第1の磁気抵抗効果素子では、フリー層である第2の強磁性層14がC₀基合金（たとえばC₀-Fe、Co-Fe-Niなど）またはC₀基合金/Ni-Fe合金/C₀基合金の三層膜からなる。

【0024】図2に本発明の第2の磁気抵抗効果素子を

示す。この磁気抵抗効果素子20では、第1の強磁性層221/第1の誘電体層222/第2の強磁性層223/第1の反強磁性層24/第3の強磁性層25/第2の誘電体層26/第4の強磁性層27を積層して強磁性二重トンネル接合を形成している。この素子では、第1ないし第

第4の強磁性層にトンネル電流を流す。この素子では、第2および第3の強磁性層23、25がピン層、第1および第4の強磁性層21、27がフリー層(MRAMの場合には磁気抵抗効果素子である。第2の磁気抵抗効果素子においては、フリー層である第1および第4の強磁性層21、27がC_o-Fe合金(たとえばC_o-Fe、Co-F_e-e-Niなど)またはCo基合金/Ni-Fe合金/C_o基合金の三层構造からなる。

【0025】図3に本発明の第3の磁気抵抗効果素子を示す。この磁気抵抗効果素子30では、第1の反強磁性層31/第1の強磁性層32/第1の誘電体層33/第2の強磁性層34/第2の反強磁性層35/第3の強磁性層36/第3の反強磁性層37/第4の強磁性層38/第4の反強磁性層39/第5の強磁性層40/第5の反強磁性層41/第6の強磁性層42/第6の反強磁性層43/第7の強磁性層44/第7の反強磁性層45/第8の強磁性層46/第8の反強磁性層47/第9の強磁性層48/第9の反強磁性層49/第10の強磁性層50/第10の反強磁性層51/第11の強磁性層52/第11の反強磁性層53/第12の強磁性層54/第12の反強磁性層55/第13の強磁性層56/第13の反強磁性層57/第14の強磁性層58/第14の反強磁性層59/第15の強磁性層60/第15の反強磁性層61/第16の強磁性層62/第16の反強磁性層63/第17の強磁性層64/第17の反強磁性層65/第18の強磁性層66/第18の反強磁性層67/第19の強磁性層68/第19の反強磁性層69/第20の強磁性層70/第20の反強磁性層71/第21の強磁性層72/第21の反強磁性層73/第22の強磁性層74/第22の反強磁性層75/第23の強磁性層76/第23の反強磁性層77/第24の強磁性層78/第24の反強磁性層79/第25の強磁性層80/第25の反強磁性層81/第26の強磁性層82/第26の反強磁性層83/第27の強磁性層84/第27の反強磁性層85/第28の強磁性層86/第28の反強磁性層87/第29の強磁性層88/第29の反強磁性層89/第30の強磁性層90/第30の反強磁性層91/第31の強磁性層92/第31の反強磁性層93/第32の強磁性層94/第32の反強磁性層95/第33の強磁性層96/第33の反強磁性層97/第34の強磁性層98/第34の反強磁性層99/第35の強磁性層100/第35の反強磁性層101/第36の強磁性層102/第36の反強磁性層103/第37の強磁性層104/第37の反強磁性層105/第38の強磁性層106/第38の反強磁性層107/第39の強磁性層108/第39の反強磁性層109/第40の強磁性層110/第40の反強磁性層111/第41の強磁性層112/第41の反強磁性層113/第42の強磁性層114/第42の反強磁性層115/第43の強磁性層116/第43の反強磁性層117/第44の強磁性層118/第44の反強磁性層119/第45の強磁性層120/第45の反強磁性層121/第46の強磁性層122/第46の反強磁性層123/第47の強磁性層124/第47の反強磁性層125/第48の強磁性層126/第48の反強磁性層127/第49の強磁性層128/第49の反強磁性層129/第50の強磁性層130/第50の反強磁性層131/第51の強磁性層132/第51の反強磁性層133/第52の強磁性層134/第52の反強磁性層135/第53の強磁性層136/第53の反強磁性層137/第54の強磁性層138/第54の反強磁性層139/第55の強磁性層140/第55の反強磁性層141/第56の強磁性層142/第56の反強磁性層143/第57の強磁性層144/第57の反強磁性層145/第58の強磁性層146/第58の反強磁性層147/第59の強磁性層148/第59の反強磁性層149/第60の強磁性層150/第60の反強磁性層151/第61の強磁性層152/第61の反強磁性層153/第62の強磁性層154/第62の反強磁性層155/第63の強磁性層156/第63の反強磁性層157/第64の強磁性層158/第64の反強磁性層159/第65の強磁性層160/第65の反強磁性層161/第66の強磁性層162/第66の反強磁性層163/第67の強磁性層164/第67の反強磁性層165/第68の強磁性層166/第68の反強磁性層167/第69の強磁性層168/第69の反強磁性層169/第70の強磁性層170/第70の反強磁性層171/第71の強磁性層172/第71の反強磁性層173/第72の強磁性層174/第72の反強磁性層175/第73の強磁性層176/第73の反強磁性層177/第74の強磁性層178/第74の反強磁性層179/第75の強磁性層180/第75の反強磁性層181/第76の強磁性層182/第76の反強磁性層183/第77の強磁性層184/第77の反強磁性層185/第78の強磁性層186/第78の反強磁性層187/第79の強磁性層188/第79の反強磁性層189/第80の強磁性層190/第80の反強磁性層191/第81の強磁性層192/第81の反強磁性層193/第82の強磁性層194/第82の反強磁性層195/第83の強磁性層196/第83の反強磁性層197/第84の強磁性層198/第84の反強磁性層199/第85の強磁性層200/第85の反強磁性層201/第86の強磁性層202/第86の反強磁性層203/第87の強磁性層204/第87の反強磁性層205/第88の強磁性層206/第88の反強磁性層207/第89の強磁性層208/第89の反強磁性層209/第90の強磁性層210/第90の反強磁性層211/第91の強磁性層212/第91の反強磁性層213/第92の強磁性層214/第92の反強磁性層215/第93の強磁性層216/第93の反強磁性層217/第94の強磁性層218/第94の反強磁性層219/第95の強磁性層220/第95の反強磁性層221/第96の強磁性層222/第96の反強磁性層223/第97の強磁性層224/第97の反強磁性層225/第98の強磁性層226/第98の反強磁性層227/第99の強磁性層228/第99の反強磁性層229/第100の強磁性層230/第100の反強磁性層231/第101の強磁性層232/第101の反強磁性層233/第102の強磁性層234/第102の反強磁性層235/第103の強磁性層236/第103の反強磁性層237/第104の強磁性層238/第104の反強磁性層239/第105の強磁性層240/第105の反強磁性層241/第106の強磁性層242/第106の反強磁性層243/第107の強磁性層244/第107の反強磁性層245/第108の強磁性層246/第108の反強磁性層247/第109の強磁性層248/第109の反強磁性層249/第110の強磁性層250/第110の反強磁性層251/第111の強磁性層252/第111の反強磁性層253/第112の強磁性層254/第112の反強磁性層255/第113の強磁性層256/第113の反強磁性層257/第114の強磁性層258/第114の反強磁性層259/第115の強磁性層260/第115の反強磁性層261/第116の強磁性層262/第116の反強磁性層263/第117の強磁性層264/第117の反強磁性層265/第118の強磁性層266/第118の反強磁性層267/第119の強磁性層268/第119の反強磁性層269/第120の強磁性層270/第120の反強磁性層271/第121の強磁性層272/第121の反強磁性層273/第122の強磁性層274/第122の反強磁性層275/第123の強磁性層276/第123の反強磁性層277/第124の強磁性層278/第124の反強磁性層279/第125の強磁性層280/第125の反強磁性層281/第126の強磁性層282/第126の反強磁性層283/第127の強磁性層284/第127の反強磁性層285/第128の強磁性層286/第128の反強磁性層287/第129の強磁性層288/第129の反強磁性層289/第130の強磁性層290/第130の反強磁性層291/第131の強磁性層292/第131の反強磁性層293/第132の強磁性層294/第132の反強磁性層295/第133の強磁性層296/第133の反強磁性層297/第134の強磁性層298/第134の反強磁性層299/第135の強磁性層300/第135の反強磁性層301/第136の強磁性層302/第136の反強磁性層303/第137の強磁性層304/第137の反強磁性層305/第138の強磁性層306/第138の反強磁性層307/第139の強磁性層308/第139の反強磁性層309/第140の強磁性層310/第140の反強磁性層311/第141の強磁性層312/第141の反強磁性層313/第142の強磁性層314/第142の反強磁性層315/第143の強磁性層316/第143の反強磁性層317/第144の強磁性層318/第144の反強磁性層319/第145の強磁性層320/第145の反強磁性層321/第146の強磁性層322/第146の反強磁性層323/第147の強磁性層324/第147の反強磁性層325/第148の強磁性層326/第148の反強磁性層327/第149の強磁性層328/第149の反強磁性層329/第150の強磁性層330/第150の反強磁性層331/第151の強磁性層332/第151の反強磁性層333/第152の強磁性層334/第152の反強磁性層335/第153の強磁性層336/第153の反強磁性層337/第154の強磁性層338/第154の反強磁性層339/第155の強磁性層340/第155の反強磁性層341/第156の強磁性層342/第156の反強磁性層343/第157の強磁性層344/第157の反強磁性層345/第158の強磁性層346/第158の反強磁性層347/第159の強磁性層348/第159の反強磁性層349/第160の強磁性層350/第160の反強磁性層351/第161の強磁性層352/第161の反強磁性層353/第162の強磁性層354/第162の反強磁性層355/第163の強磁性層356/第163の反強磁性層357/第164の強磁性層358/第164の反強磁性層359/第165の強磁性層360/第165の反強磁性層361/第166の強磁性層362/第166の反強磁性層363/第167の強磁性層364/第167の反強磁性層365/第168の強磁性層366/第168の反強磁性層367/第169の強磁性層368/第169の反強磁性層369/第170の強磁性層370/第170の反強磁性層371/第171の強磁性層372/第171の反強磁性層373/第172の強磁性層374/第172の反強磁性層375/第173の強磁性層376/第173の反強磁性層377/第174の強磁性

性層 36 / 第 2 の誘電体層 37 / 第 4 の強磁性層 38 / 第 3 の反強磁性層 39 を積層して強磁性二重トンネル接合を形成している。この素子では、第 1 ないし第 4 の強磁性層にトンネル電流を流す。この素子では、第 2 および第 3 の強磁性層 34、36 をピン層として設計した場

合には第1および第4の強磁性層32、38がフリー層(MRAMの場合には磁気記録層)になる。一方、第1および第4の強磁性層32、38をピン層として設計した場合においては第2および第3の強磁性層34、36がフリー層(MRAMの場合には磁気記録層)になる。第3の強磁性抵抗抗効果素子においては、フリー層として用いられるのは第2、3、8、または第4の強磁性層32、38、または第2および第3の強磁性層34、36のいずれかの組がCo合金層(たとえばCo-F、Co-Fe-Niなど)またはCo非合金層(たとえばCo-F合金/Co非合金の三層層)からなる。

【0026】図4に本発明の第4の磁気抵抗効果素子を示す。この磁気抵抗効果素子40では、第1の磁性層1/第1の誘電体層42/第2の磁性層43/第3の非磁性層44/第3の誘電体層45/第2の磁性層46/第4の磁性層47/第2の誘電体層48/第5の磁性層49を順列して磁性二重トンネル接合を形成している。この素子では、第1ないし第5の磁性層43、44、45、46、47は非磁性層44、45、46、47を介して反強磁性結合している。この素子では、第2ないし第4の磁性層43、45、47がピッチ、第1および第5の磁性層41、49がフリー層(MRAMの場合には磁気記録層)である。第4の磁気抵抗効果素子では、フリー層である第1および第5の磁性層41、49がCo基合金(たとえばCo-Fe、Co-Fe-Niなど)またはCo基合金/Ni-Fe合金/Cr基合金の三層膜からなる。

【0027】図5に第4の磁気低反効果素子の変形例を示す。図5の磁気低反効果素子では、図4の第3の強磁性層45の代わりに、その強磁性層の中間に反強磁性層46を設けた構造となつた強磁性層45a/反強磁性層50/強磁性層45bの三層膜を形成している。

【0028】なお、第4の磁気低反効果素子を構成する第2および第3の強磁性層43、47の少なくとも一方に後述される強磁性層を設けてもよい。

【0029】本発明に係る強磁性二重トンネル接合を有する磁気抵抗効果素子は、少なくとも2層の誘電体層を有する。1つのトンネル接合に矢動的に印加される電圧が小さく、このため、磁気抵抗変化率の電圧依存性が顕著ではなく、所望の出力電圧値を得るために印加電圧を増やさなくても磁気抵抗変化率の低下が少ないというメリットがある。

れも、磁化固着層（ピン層）のスピンの反強磁性層または反強磁性結合により固定されているので、書き込みを繰り返しても磁化固着層の磁気モーメントが回転することがなく、出力が徐々に低下するという問題を防止できる。

【0031】また、本発明に係る磁気伝導効果素子では、フリー層（磁気配列層）に磁歪が小さい Co 基合金（ $\text{Co}-\text{Fe}$ 、 $\text{Co}-\text{Fe}-\text{Ni}$ 等）または Co 基合金／ $\text{Ni}-\text{Fe}$ 合金／ Co 基合金の三層膜を用いて、フリー層は、図1における第1の強磁性層14、図2における第1および第4の強磁性層21、27、図3における第1および第4の強磁性層32、38、または第2における第1および第4の強磁性層34、35のいずれかの組、図4および図5における第1および第5の強磁性層41、49である。このため、反磁磁場が小さく抑えられ、電流境界を印加するために配線に流す電流を小さくすることできる。フリー層に Co 基合金／ $\text{Ni}-\text{Fe}$ 合金／ Co 基合金の三層膜を用いた場合、各層の関与厚を要えることによって、反磁磁場の大きさを自由に設計できる。

【0032】特に、図3の構造を有する磁気抵抗効果素子では、反転磁場は磁性体の磁気力ではなく磁性体/反磁性体の界面に生じている交換磁場で決定される。そして、この交換磁場は第1および第3の反転磁性層3-1、3-3ならびに第2の反転磁性層3-5の種類、厚み、合金組成を変えることによって自由に設計できるという利点がある。このため、図3の基本構造は、上述した4つの基本構造のうちでも好ましく1つの特徴を示す。また、図3の構造は、加工方法がフジミクロンになり、接合面積が非常に小さくなった場合も有効である。すなわ

ち、加工寸法がサブミクロンになった場合には、書き込み磁場が加工ダメージ層（硬質記録層）のドメインの影響によってばやきやき層（硬質記録層）に接して反動磁性層が置かれてくる場合、書き込み磁場を交換磁場に基づいて調整することができるため、書き込み磁場のばよつきを回避できる。このため、紫子の歩留りも著しく向上することができるとしている。

【0033】一方、本発明の磁気抵抗効果素子を微細加工する際に、加工精度を上げるためには全体の膜厚が薄いことが好ましい。この点では、図2、図4または図5のように反強磁性層がなるべく少ない構造が好ましい。

【0034】次に、本発明の磁気抵抗効果素子を構成する各層に用いられる材料について説明する。フリー層（磁気記憶層）には、上述のようにCo基合金（Co—Fe、Co—Fe—Ni等）またはCo基合金/Ni—Fe合金/Co基合金の三層膜が用いられる。また、これらの合金にAg、Cu、Au、Al、Mg、Si、Ta、Ba、B、O、N、Si、Pd、Pt、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素を多少添加してもよい。本発明の磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効

果周磁気ヘッド、磁気記録素子、磁界センサー等に適用することができ、これらの用途ではフリー層に一軸異方性を付与することが好ましい。

【0035】フリー層の厚さは、 $0.1\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ が好ましく、 $0.5 \sim 50\text{ nm}$ がより好ましく、 $1 \sim 5\text{ nm}$ が最も好ましい。フリー層の厚さが 1 nm 未満になると、フリー層が連続膜となり、誘電体層中に強磁性粒子が分散した、いわゆるナノユニラ構造となるおそれがある。この結果、接合性や制御が困難になり、スイッチング磁場がばらつくおそれがあるうえに、磁粒子の大きさによっては室温で超磁性となりMR変化率が極端に低下するという問題も生じる。一方、フリー層の厚さが 5 nm を超えると、磁気阻効果素子をMRAMに応用するにあたり例えば $0.25\text{ }\mu\text{m}$ ルールで素子を実装したときに、反磁場が 100 Oe を超えるため配線に大電流を流す必要が生じる。また、フリー層の厚さが 5 nm を超えると、MR変化率がバイアス電圧の上昇とともに低下する、いわゆるバイアス依存性が顕著になるとともに、フリー層の厚さが $1 \sim 5\text{ nm}$ の範囲であれば、微細化に伴う反磁場の増大およびMR変化率のバイアス依存性が抑制される。また、フリー層の厚さがこの範囲であれば、加工精度も良好になる。

【0036】ピン層の材料は特に制限されず、Fe、C、Niまたはこれらの合金、スピン分極率の大きいマグネタイド、CrO₂、RXMnO₃（R：希土類、X：Ca、Ba、Sr）などの酸化物、NiMnSb、PtMnSbなどのペライター合金などを用いることができる。ピン層は超常磁性にならないう程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。また、強磁性を失わないかぎり、これら磁性体にAg、Cu、Au、Al、Mg、Si、Zr、Ta、B、C、O、Ni、S、Pd、Pt、Bi、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素を多少添加してもよい。

【0037】なお、反磁性作用層によってピン層を強く固定したい場合、ピン層として強磁性層/非磁性層/強磁性層の三層構造を用い、非磁性層を介して相積された2層の強磁性層を反強磁性結合させてもよい。非磁性層の材料は特に限定せず、Ru、Ir、Cr、Cuなどの金属材料を用いることができる。非磁性層の厚さを調整することによって、磁性層間に反強磁性結合が生じる。非磁性層の厚さは、0.5〜2.5nmであることが好ましい。強磁性層および反強磁性結合の強さなどを考慮すると、非磁性層の厚さは0.7〜1.3nmであることがより好ましい。具体的には、Co（またはCo—Fe）/Ru／Co（またはCo—Fe）、Co（またはCo—Fe）／Ir／Co（またはCo—Fe）などの三層構造が挙げられる。

【0038】反強磁性相の材料としては、Fe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiO、Fe₂O₃などを用いることができる。

【0039】誘電体層の材料としては、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 AlN 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrTiO_3 、 AlLaO_3 などを用いることができる。誘電体層は、酸素、窒素またはフッ素の欠損が生じていてもよい。誘電体層の厚さは特に限定されないが、薄い方が好ましく、10 nm以下、さらに5 nm以下であることが好ましい。

【0040】本発明の磁気抵抗効果素子が形成される基板は特に限定されず、 Si 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、スズ、 Ni 、 AlN など各種基板を用いることができる。本発明においては、基板上に下地層を介して磁気抵抗効果素子を積層してもよく、また磁気抵抗効果素子の上部に保护层を設けてもよい。これらの下地層および保護層の材料としては、 Ta 、 Ti 、 W 、 Pt 、 Pd 、 Au 、 Ti / Pt 、 Ta / Pt 、 Ti / Pd 、 Ta / Pd 、または、 TiN などの窒化物などを用いることができる。また、

【0041】本発明に係る磁気抵抗効果素子は、各種スパッタ法、蒸着法、分子線エビタキシャル法などの通常の成膜方法を用いて各層を形成することにより製造することができる。

【0042】次に、本発明の磁気抵抗効果素子を適用した磁気記録素子(MRAM)について説明する。本発明の磁気抵抗効果素子を用いるMRAMは、非破壊読み出しおよび破壊読み出しのいずれの場合でも、上述した電流境界を印刷するために配線に流す電流を小さくできるという効果を得ることができる。

【0043】 具体的なMRAMの要諦としては、トランジスタに強磁性二重トンネル接合素子を積層した構造、またはダイオードと強磁性二重トンネル接合素子を積層した構造が考案されている。以下で説明するよう
に、これらの構造では特に第1または第3の強磁性二重トンネル接合素子を用い、少なくとも最上層の反強磁性層をビットラインの一部として用いることが好まし
性。

【0044】図6および図7を参照して、MOSTランジスタ上に例えば第1の強磁性二重トンネル接合装置(図1)を積層した構造を有するMRAMを説明する。図6は3×3セルのMRAMの等価回路図、図7は1セルのMRAMの断面図を示す。

【0045】図6の等価回路図に示すように、トランジスタ60と図1の強磁性二重トランシェン接合素子（TM）10とからなる配線セルはゲート電圧状態に配列されている。トランジスタ60のゲート電極からなる読み出し用のワードライン（WL1）62と、書き込み用のワードライン（WL2）71とは平行に配置されている。また、TMR10の他端（上端）と接続されたビットライン（BL）74は、ワードライン（WL1）62およびワードライン（WL2）71と直交して配置されている。

【0046】図7に示すように、シリコン基板61、ゲ

2002 09 12 14:20

CoFe 2nm/Ir-Mn 14nm/Ta 5nmを順次積層した。Al₂O₃は上記と同様な方法により形成した。

[0113] 上記積層膜を成膜した後、フォトリソグラフィ技術により最上層のTa保護層上に100μm幅の下配線形状を規定する第1のレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて加工した。次に、第1のレジストパターンを除去した後、フォトリソグラフィ技術により最上層のTa保護層上に接合層を規定する第2のレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて第1のAl₂O₃より上層のCoFe/Ni₈₁Fe₁₉/Fe₆₀Mn₄₀/Ni₈₁Fe₁₉/CoFe/Al₂O₃/CoFe/Ru/Co₉₀Fe₁₀/Ir-Mn/Taを加工した。次いで、上記と同様に、Al₂O₃層間絶縁膜の形成、Al電極配線の形成、ピン層への一方

向磁性の導入を行った。

[0114] また、比較のために、以下のような試料C3および試料D3を作製した。試料C3は強磁性一重トンネル接合素子であり、Ta 3nm/Ir-Mn14nm/Co-Fe 1.5nm/Ru 0.7nm/CoFe 1.5nm/Al₂O₃ 1.7nm/CoFe 1.5nm/Al₂O₃ 1.7nm/CoFe 1.5nm/Ni₈₁Fe₁₉ 2nm/Fe₆₀Mn₄₀ 1.9nm/Ta 5nmという積層構造を有する。

[0115] 試料D3は反強磁性層を含まない強磁性二重トンネル接合素子であり、Ta 5nm/Co₉₀Fe₁₀ 5nm/CoFe 2nm/Al₂O₃ 1.7nm/Co₉₀Fe₁₀ 2nm/Al₂O₃ 2nm/CoFe 2nm/Co₉₀Pt₁₀ 1.5nm/Ta 5nmという積層構造を有する。

[0116] 図23に試料A3およびB3の磁気抵抗効果曲線を示す。試料A3は570eVという小さな磁場でMR変換率26%が得られている。試料B3は630eVという小さな磁場でMR変換率27%が得られている。[0117] 図24に試料A3、B3およびC3についてMR変換率の印加電圧依存性を示す。なお、この図ではMR変換率は電圧0Vのときの値で規格化して示している。この図から、試料A3およびB3は、試料C3と比較して磁気抵抗変換率の値が半分になる電圧V₀が大きい。電圧増大に伴うMR変換率の減少が小さいことがわかる。

[0118] 次に、試料A3、B3およびD3をソレノイドコイル中に置き、パルス磁界750eV中で磁化固定層の磁気記録状態の疲労試験を行った。図25に試料A3、B3およびD3について、パルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す。この図では、出力電圧を初期の出力電圧値で規格化している。この図から明らかのように、試料D3ではパルス磁場の反転回数の増加に伴って出力電圧が著しく低下している。これに対して、試料A3およびB3は磁化固定層の磁気記録状態の疲労は見られない。また、試料A3とB3との比較では、フリー

し、イオンミリング技術を用いて第1のAl₂O₃より上層のCoFe/Ru/CoFe/Ru/CoFe/Al₂O₃/Al₂O₃/Co₉₀Fe₁₀/Ni₈₁Fe₁₉/Taを加工した。第2のレジストパターンを形成した。電子ビーム蒸着により厚さ300nmのAl₂O₃を堆積した後、第2のレジストパターンおよびその上のAl₂O₃をリフトオフし、接合層以外の部分に閉回路線形成した。

[0127] 次いで、電極配線の形成領域以外の領域を第3のレジストパターンを形成した後、表面を逆バタしてクリーニングした。全面にAlを堆積した後、第3のレジストパターンおよびその上のAlをリフトオフして、Al電極配線形成した。その後、磁場中

熱処理後に導入し、ピン層に一方向磁性を導入した。

[0128] 試料B4は以下のようにして作製した。基板をスパッタ装置に入れ、初期真空度を1×10⁻⁷ Torrに設定した後、Arを導入して所定の圧力に設定した。基板上に、Ta 5nm/Ni₈₁Fe₁₉ 1.5nm/Co₉₀Fe 2nm/Al₂O₃ 1.5nm/CoFe 1.5nm/Ru 0.7nm/CoFe 1.5nm/Al₂O₃ 1.5nm/Ir-Mn 14nm/CoFe 1.5nm/Ru 0.7nm/CoFe 1.5nm/Al₂O₃ 2nm/Co₉₀Fe 2nm/Ni₈₁Fe₁₉ 1.5nm/Ta 5nmを順次積層した。Al₂O₃は上記と同様な方法により形成した。

[0129] 上記積層膜を成膜した後、フォトリソグラフィ技術により最上層のTa保護層上に100μm幅の下配線形状を規定する第1のレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて加工した。次に、第1のレジストパターンを除去した後、フォトリソグラフィ技術により最上層のTa保護層上に接合層を規定する第2のレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて第1のAl₂O₃より上層のCoFe/Ru/CoFe/Ir-Mn/CoFe/Ru/CoFe/Al₂O₃/Al₂O₃/Co₉₀Fe₁₀/Ni₈₁Fe₁₉/Taを加工した。次いで、上記と同様に、Al₂O₃層間絶縁膜の形成、Al電極配線の形成、ピン層への一方向磁性の導入を行った。

[0130] また、比較のために、以下のような試料C4および試料D4を作製した。試料C4は強磁性一重トンネル接合素子であり、Ta 5nm/Ni₈₁Fe₁₉ 1.7nm/Co₉₀Fe₁₀ 3nm/Al₂O₃ 1.7nm/CoFe 2nm/Ru 0.7nm/CoFe 2nm/Ru 0.7nm/CoFe 2nm/Ta 5nmという積層構造を有する。

[0131] 試料D4は反強磁性層を含まない強磁性二重トンネル接合素子であり、Ta 5nm/Ni₈₁Fe₁₉ 1.7nm/Co₉₀Fe₁₀ 3nm/Al₂O₃ 1.7nm/CoFe 6nm/Al₂O₃ 2nm/Co₉₀Fe₁₀ 3nm/Ni₈₁Fe₁₉ 1.6nm/Ta 5nmという積層構造を有する。

[0132] 次に、試料A4、B4およびD4をソレノイドコイル中に置き、パルス磁界400eV中で磁化固定層の磁気記録状態の疲労試験を行った。図28に試料A4、B4およびD4について、パルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す。この図では、出力電圧を初期の出力電圧値で規格化している。この図から明らかのように、試料D4ではパルス磁場の反転回数の増加に伴って出力電圧が著しく低下している。これに対して、試料A4およびB4は磁化固定層の磁気記録状態の疲労は見られない。また、試料A4とB4との比較では、フリー

性層、A1からなる金属層)を順次積層した構造を有する。

【0140】図29に示されるように、試料A5およびB5のいずれも、接合面積に比較して第2の反強磁性膜の面積が大きい。

【0141】試料A5は以下のようにして作製した。基板をスパッタ装置に入れ、初め真空度を 1×10^{-7} Torrに設定した後、Arを導入して所定の圧力に設定した。炭膜上に、Ta 5nm/Fe₃Mn₄ 18nm/Ni₃Fe₂ 5nm/CoFe 2nm/Al₂O₃

1. $7 \text{ nm} / \text{Co}_9\text{Fe}$ $3 \text{ nm} / \text{Al}_2\text{O}_3$ $2 \text{ nm} / \text{CoFe}$ $2 \text{ nm} / \text{Ta}$ 5 nm を順次積層した。なお、 Al_2O_3 は、純Arガス中でAターゲットを用いてAを成膜した後、真空を破ることなく酸素を導入し、プラズマモータに曝すことによって形成した。

【0142】上記積層膜を成膜した後、フォトリソグラフィ技術により最上層のT_a層上に50 μ m幅の下配線形状を規定する第1のレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて加工した。

【0143】次に、第1のレジストパターンを除去した。次に、被覆層のT₁層上に電子線レジストを塗布し、EB露光装置を用いて第1のA₁O₃より上部の各層の微細加工を行い、接合面積 $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ 、 $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^2$ 、 $0.15 \times 0.15 \mu\text{m}^2$ の強磁性トンネル接合を製作した。電子線レジストパターンを残したまま、電子線露光装置により厚さ300 nmのA₁O₃を堆積した。その後、電子線レジストパターンおよびその上のA₁O₃をリフトオフし、接合部以外の部分に窒素酸塩膜を形成した。

【0104】次いで、電極配線の形成領域以外の領域を真鍮箔第3のレジストパターンを形成した後、表面を逆さパターでペリトラインングし、さらにTa層を除去了。その後、ビットラインの電極層としてNi₁F_e₂ 5 nmnm/FesMn₄ 18 nm/Al 5 nmを順次積層させた。第3のレジストパターンおよびその上の電極配線は、真鍮箔に一方両端方向から導入された熱処理炉に導入して、ビーム照射により除去した。

【0145】試料B5は以下のようにして作製した。基質をスパッタ装置に入れ、初期真空度を 1×10^{-7} Torrに設定した後、Arを導入して所定の圧力を設定し、基板上に、 Ta 、 5 nm 、 $\text{Ir}_2\text{Mn}_{19}$ 、 18 nm 、 CoFe/CoFe 、 $3 \text{ nm}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $1.5 \text{ nm}/\text{CoFe}$ 、 $1 \text{ nm}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $1.8 \text{ nm}/\text{CoFe}$ 、 $3 \text{ nm}/\text{CoFe}$ 、 $1 \text{ nm}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $1.8 \text{ nm}/\text{CoFe}$ 、 $3 \text{ nm}/\text{Ta}$ 、 5 nm を順次成膜させた。Al₂O₃は上記と同様な方法により形成された。

【0146】上記諸問題を克服した後、フォトリソグラフィ技術により最上部のTa層上に50 μ m幅の下配線形状を規定する第1のレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて加工した。

【0147】次に、第1のレジストパターンを除去したトッポ層上に電子線レジストを塗布し、EB露光装置を用いて第1の Al_2O_3 膜上油の各層の微細加工工程を行い、接合面積 $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ 、 $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^2$ 、 $0.15 \times 0.15 \mu\text{m}^2$ の強磁性トネル接合を製造した。電子線レジストパターンを現したまま、電子線蒸着により厚さ 300 nm の Al_2O_3 を堆積した。電子線レジストパターンおよびその下の Al_2O_3 をエッチングし、接合部以外の部分に図面幾何図を形成した。

【0148】 次いで、電極配線の形成領域は外周の領域を被覆する。第3のレジスタパターンを形成した後、表面を平滑化してピットラングシを形成し、さらにT₉₀層を除去した。第3のピットラングシの電極配線としてCo₉₀Ir₁₀M₀膜18nm/AI5nmを順次積層した。第3のレジスタパターンおよびその上の電極配線をリフトオフした。その後、磁石が熱処理炉に導入し、リフト層に一方異方性を導入した。

【0149】また、比較のために、以下のような試料C

例、試料D5および試料E5を製した。試料C5は強磁性一重トンネル接合素子であり、Ta 5nm/IrMn₇₈18nm/CoFe 3nm/Al₂O₃ 1nm/CoFe 1nm/Ni₉Fe₃ 3nm/CoFe 1nm/Ta 5nmという積層構造を有する。

0.0150] 試料D5は、試料B5と同様の依属構造、すなわち $\text{Ta } 5\text{nm}/\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{10} \text{ 18nm}/\text{Co } 3\text{nm}/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 1.5nm}/\text{CoFe } 1\text{nm}/\text{Ni}_2\text{Fe}_2 \text{ 3nm}/\text{CoFe } 1\text{nm}/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 1.8nm}/\text{CoFe } 3\text{nm}/\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{10} \text{ 18nm}/\text{Ta } 5\text{nm}$ という積層構造を有する。しかし、D2, D9の構造と異なり、上層の $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{10}$ からなる第2反強磁性層 (および Ta 保護層) の面積も接合面積とA1層のみに加工されている。また、ピットライスはA1層のみからなっている。

0.151) 試料E5は反強磁性層を含まない強磁性二
トンネル接合であり、Ta 5nm/CoFePt
3nm/Al₂O₃ 1.5nm/CoFe 1nm/
i₁Fe₂ 3nm/CoFe 1nm/Al₂O₃
.8nm/CoFePt 13nm/Ta 5nmと
う積層構造を有する。

【0152】図30に試料A5およびB5の磁気抵抗特性曲線を示す。試料A5は290eという小さな磁場でR変化率28%が得られている。試料B5は390eという小さな磁場でMR変化率27%が得られている。

図3-1に試験A5、B5およびC5についてMR変化率の印加電圧依存性を示す。なお、この国でMR変化率は電圧0Vのときの値で規格化して示している。この国から、試験A5およびB5は、試験C5に較べて磁気抵抗変化率の値が半分になる電圧 $V_{1/2}$ が小さく、電圧増大に伴うMR変化率の減少が小さいこと

大きく、電圧増大に伴うMR変化率の減少が小さいこと

がわかる。

【0154】次に、試料A5、B5、D5およびE5を、フレノイドコイル中に置き、パルス磁界700e中での磁化回路的磁気飽和度の測定を試験を行った。図32に、試料A5、B5、D5およびE5について、パルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す。この図では、出力電圧を初期の出力電圧値として規格化している。この図から明らかなように、試料E5ではパルス磁場の反転回数の増加に伴って出力電圧が著しく低下している。また、試料D5は、後合面が劣化しており、疲労が著しくなる

傾向を示した。これは、接合面積が小さいと加工ダメージ等で上部磁化回層が劣化したためであると考えられる。これに対して、試料A5およびB5は磁化回層の磁気記録状態の疲弊は見られない。このことから、図2-9に示したように、上部の反強磁性層をビットラインの一部として構成することが有効であることがわかる。

【0155】以上のように図29の構造を有する強磁性二重トンネル接合素子は、特に磁気配線素子に適用した場合に好適な特性を示すことがわかる。

【0156】なお、誘電体層として SiO_2 、 AlN 、 MgO 、 LaAlO_3 または CaF_2 を用いた場合にも上記と同様の傾向が見られた。

Saravali	V_1/V_2	$V_1/(10000)/V_{initial}$
$1p2Mn18/CuF_2/SiO_2/CuF_2/CuF_2/SiO_2/CuF_2/ArgMn18$ (10nm) (2nm) (1.6nm) (2.4nm)(1.8nm)(3nm) (20nm)	0.31	0.36
$FaMn/CuF_2/NiF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/NiF_2/FaMn$ (10nm) (3nm) (1.9nm) (2.4nm)(2.1nm)(3nm) (19nm)	0.7	0.96
$PdMn/NiF_2/CuF_2/AgO/CuF_2/CuF_2/AgO/CuF_2/NiF_2/CuF_2/PdMn$ (10nm)(2nm) (2nm) (1.4nm) (2nm) (1.9nm) (1nm) (20nm)	0.79	0.99
$1p2Mn18/CuF_2/CuF_2/MgO/CuF_2/NiF_2/CuF_2/MgO/CuF_2/1p2Mn18$ (10nm)(2nm) (2nm) (1.7nm) (1nm) (1nm) (1nm)(2.2nm) (1nm) (11nm)	0.78	0.96
$CuMn/CuF_2/SiO_2/CuF_2/CuF_2/SiO_2/CuF_2/CuF_2/SiO_2/CuMn$ (10nm) (2nm) (1.5nm) (2nm) (1.8nm) (1nm) (1nm) (1nm)	0.77	0.97
$NiF_2/CuF_2/AN/CuF_2/NiF_2/CuF_2/NiF_2/CuF_2/AN/CuF_2$ (10nm) (1nm)(1.3nm)(1nm)(1nm)(1.8nm)(1.5nm)(1nm)(1nm)(1nm)	0.76	0.95
$CuF_2/Fa15/Al_2O_3/CuF_2/CuF_2/NiF_2/CuF_2/CuF_2/NiF_2/CuF_2/Fa15$ (10nm) (1.7nm) (2nm) (1.9nm) (1nm) (2nm) (1nm) (14nm)	0.81	0.91
$CuF_2/Cu20/MgO/CuF_2/Fu/CuF_2/FuMn/CuF_2/CuF_2/MgO/CuF_2/Cu20$ (12nm) (2.1nm) (5nm)(2nm)(1nm)(1nm)(2nm) (2.2nm) (1.5nm)	0.74	0.94
$1p2Mn18/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/1p2Mn18$ (12nm)(1nm)(2nm) (1.5nm)(2nm) (1.8nm)(1nm)(2nm) (1.9nm)	0.71	0.91
$1p2Mn18/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/1p2Mn18$ (12nm) (3nm) (1.8nm)(1.6nm) (1.3nm) (1nm) (2nm) (1.6nm)(1.7nm)	0.78	0.98
$1p2Mn18/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/1p2Mn18$ (12nm) (2nm) (2.2nm) (1.5nm) (1nm) (1.3nm) (2.2nm) (2nm) (18nm)	0.78	0.98
$PdMn/CuF_2/NiF_2/MgO/CuF_2/NiF_2/CuF_2/MgO/CuF_2/NiF_2/PdMn$ (10nm)(2nm) (2nm) (1.5nm) (1nm) (1.3nm) (2.2nm) (2nm) (20nm)	0.81	0.91
$CuF_2/AN/SiO_2/Fu/CuF_2/Ru/Fu/CuF_2/Ru/SiO_2/CuF_2/Fu$ (10nm)(2nm)(1.5nm)(1.6nm)(2nm)(1.3nm)(2nm)(2nm)(17nm)	0.73	0.97
$CuF_2/Pd/AN/CuF_2/Ru/CuF_2/Ru/CuF_2/AN/CuF_2/Pd$ (10nm)(2nm)(1.5nm)(1.6nm)(2nm)(1.3nm)(2nm)(2nm)(17nm)	0.78	0.98
$1p2Mn18/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/1p2Mn18$ (14nm)(2nm) (1nm)(0.8nm) (1nm) (1nm) (1nm) (0.8nm)(1.4nm)	0.78	0.98
$1p2Mn18/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/CuF_2/AN/CuF_2/1p2Mn18$ (15nm)(1.4nm)(1nm)(0.9nm)(1nm)(1nm)(1nm)(0.9nm)(1nm)(15nm)	0.81	0.91

【0161】なお、本発明において、各層間の原子拡散と混合が生じることがあり得る。例えば、スバタリン®にスバタ強度を強くすれば、NiFe合金層、C層、明示した材料の範囲内に含まれる限り、本発明の範囲に入る。

問での原子の拡散が生じると考えられる。また、温度や【0162】実施例7

時間にも依存するが、熱処理でも同様の原子拡散が生じ 50 Si/SiO₂基板またはSiO₂基板上に図1に示すよ

うな構造を有し、フリー層の厚さが異なる3種の強磁性二重トンネル接合素子(試料T1, T2およびT3)を、作製した例を説明する。

【0163】 試料T1は、Ta下地層、Fe-Mn/Ni-Feの二層膜からなる第1の反強磁性層、CoFe下地層、Co₂Feからなる第2の強磁性層、Al₂O₃からなる第1の強磁性層、Al₂O₃からなる第1の強磁性層、Al₂O₃からなる第2の強磁性層、Al₂O₃からなる第3の強磁性層、Ni-Fe/Fe-Mnの二層膜からなる第2の反強磁性層、Ta電鍍層を順次積層した構造を有し、フリット層であるCo₂Feからなる第2の強磁性層の膜厚が2.5 nmに調整されている。

【0164】 試料T1は以下のようにして作製した。基質をスパッタ装置に入れ、初期真空度を 1×10^{-7} Torrに設定した後、Arを導入して所定の圧力に設定し、基質上に、Ta 5nm/Fe₅₃Mn₄₇ 20nm/
Ni₁₅Fe₂ 5nm/CoFe 3nm/Al₂O₃ 2nm/CoFe 3nm/Al₂O₃ 2nm/CoFe 3nm/Ni₁₅Fe₂ 5nm/Fe₅₃Mn₄₇ 20nm/Ta 5nmを順次成膜した。なお、Al₂O₃は、純Arガス中でAlターゲットを用いてAlを成膜した後、真空を破ることなく酸素を導入しプラズマ処理に曝すことによって形成した。

マ酸素に曝すことによって形成した。
 [0165] 上記積層を成膜した後、フォトリソグラ
 フィ技術により最上部のT₁保護層上に100 μm幅の
 下部配線形状を規定するレジストパターンを形成し、イ
 オンミリング技術を用いて加工した。

【0116】次に、レジストパターンを除去した後、フ
ォトリソグラフィ技術または電子線リソグラフィ技術お
よびRUEにより膜上層のT₁保護膜上に接合方法を規
定するステップでマスクを形成し、イオンミリング技術
を用いて第1のAl₂O₃より上部のCo₉Fe₃/Al₂O₃
/Co₉Fe₃/Ni₃Fe₃/Fe₃Mn₃/T₁を加工し
、この工程により接合層を膜々に変化した。接合幅
が1μm以下の微子を形成する場合には電子線リソグラ
フィ技術を用いた。接合層上にレジストパターンを形成
し、スパッタ法またはプラズマCVD法により厚さ30
nmのSiO₂を堆積した後、レジストパターンおよ
びその上のSiO₂をリフトオフし、接合部以外の部分
に空間絶縁層を形成した。

【0167】次に、電極配線の形成領域以外の領域を、窒素レジストパターンを形成した後、表面を遊走バタールでクリーニングした。全面にA-1を堆積した後、レジストパターンおよびその上のA-1をリフトオフして、A-1電極配線を形成した。その後、磁場中熱処理炉に導入し、ボンダリットを導入了。

【0168】試料T2はフリー層である Co_9Fe からなる第2の強磁性層の膜厚を7nmとした以外は、試料T1と同様にして作製した。

【0169】試料T3はフリー層である Co_9Fe から

なる第2の強磁性層の膜厚を17 nmとした以外は、試料T1と同様にして作製した。

【0170】図33に、試料T1、T2およびT3について、素子の接合幅とフリー層の反転磁場との関係を示している。この図では横軸は接合幅Wの逆数(1/W)として示す。図33には横軸に示されるように、いずれの試料でも接合幅を縮小すると従って反転磁場が増大している。このこととは、MRAM応用においては接合幅を縮小するに従って書き込み時の消費電力が増大することを意味する。しかし、フリー層の反転電圧が低い試料T1では直傾きの傾きが大きくなり、フリー層の臨界に伴う反転磁場の増大が抑制され小さく、接合幅の縮小に伴う反転磁場の増大が抑制される。一方、フリー層の反転電圧が比較的高い試料T2にお

およびT3では、接合部の微小に伴う反磁磁場の増大が顕著であり、MRAM応用において書き込み時の消費電力が著しく増大するおそれがある。ここで、現状の加工技術で得られる接合幅0.25 μm ($1/W=4$) の素子の試料1では反磁磁場が1000eを超えており、MRAM応用において書き込み時の消費電力がすでに高く、さらなる微細化に対応することは困難である。

【0171】図34に試験T1、T2およびT3についてMR変化率の印加電圧依存性を示す。なお、この図ではMR変化率は電圧0Vのときの値で規格化して示している。さらに、図35に試験T1ではMR変化率の値が半分にたなるバイアス電圧 V_{D0} が0.9Vを超えており、バイアス依存性が抑制されている。一方、フリー層の厚みが比較的小さい試験T2およびT3は、強磁場下で重トンネル接合を素子に比べればバイアス依存性が小さいことがわかっており、 V_{D0} は0.8V未満であり、試験T1に比べて明

【0172】図33および図34から、フリー層の厚さが薄いほど、接合の微細化に伴う反転磁場の増大が抑えられる。一方、フリー層の厚さが5 nm以下であれば、0.25 μm フリ層の厚さで反転磁場が100 Oe以下に抑えられ、かつMR変換率のバイアス依存性も改善される。しかし、0.25 μm フリ層の厚さで反転磁場が100 Oe以下に抑えられ、かつMR変換率のバイアス依存性も改善される。しかし、フリー層の厚さが1 nm未満になると、フリー層の埋め込み不良に陥り、誘電体層中に磁性粒子が分散した、いわゆるフックナー構造となることがある。この結果、接合特性の制御が困難になり、微粒子の大きさによって高温で超常磁性となりMR変換率が極端に低下するといって問題も生じる。したがって、フリー層の厚さは1 nm以上であることが好ましい。

【0173】 实施例 8

Si/SiO₂基板上に図14のような構造を有するM₁RAMを作製した例を示す。Si基板151上にプラズマCVDによりSiO₂を成膜した。ダマシンプロセスを用いてワードライン152を形成した。すなわち、レ

ジストを塗布し、フォトリソングラフィーによりレジストパターンを形成し、RIEによりSiO₂に溝を加し、CMPにメッキ法を用いて溝内にCuを埋め込んだ後、CMPにより平坦化を行い、ワードライン152を形成した。その後、プラズマCVDにより、ワードライン152上に

厚さ250 nmのSiO₂密閉絶縁被を形成した。

[10174] この試料をバツタ装置に入れ、初期真空度を 3×10^{-7} Torrに設定した後、Arを導入して所定の圧力に安定した。SiO₂密閉絶縁被上に、Ta地下層/Cu (50 nm)/Ni₃Fe₁₀ (5 nm)/Ir₂Mn₁₈ (12 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (3 nm)/Al₂O₃ (1 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (2 nm)/Ni₃Fe₁₉ (1 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (2 nm)/Ru (0.9 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (2 nm)/Ni₃Fe₁₉ (1 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (2 nm)/Al₂O₃ (1 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (2 nm)/Ru (0.9 nm)/Co₉₀Fe₁₀ (3 nm)/Ru (0.9 nm)/Co₉₀Fe₁₀/Ir₂Mn₁₈ (12 nm)/Ni₃Fe₁₉ (5 nm)/Au保護層を積層した。Al₂O₃は、純Arガス中でAlターゲットを用いてAlを成膜した後、真空を破ることなく酸素を導入しプラズマ状態で曝すことによって形成した。

【0175】上記阻害剤上に Si_3N_4 を成膜し、レジストを塗布してフォトリソグラフィによりレジストパターンを形成し、R1Eにより金属配線153を規定するハードマスクを形成した後、イオンミリングを行い、積層膜を加工した。次に、レジストを塗布してフォトリソグラフィにより接合方法と規定するレジストパターンを形成し、イオンミリング技術を用いて第1の Al_2O_3 より上層の積層膜を加工してTMR素子を形成した。TMR素子のセルサヤは全て $0.4 \times 0.4 \mu\text{m}^2$ とした。その後、レジストパターンを塗布し、

【0177】次いで、プラズマCVDにより SiO_2 層と同様に線膜を成膜し、CMPにより250 nmの厚さまで削削して平坦化した。全面にCu、絶縁膜、およびCuを堆積して平坦化した。この層構造上に Si_3N_4 を成膜し、レジストを塗布してフォトリソグラフィによりレジストパターンを形成した。

を形成し、R1Eによりハードマズクを形成した後、イオオミリングを行い、ピットライン154、層間絶縁層155、および第2ワードライン156を形成した。その後、異方性を、酸化塩素ガス中熱処理により導入し、酸化銅層に一方方向異方性を導入した。

[0176]得られたMRAMに対して以下の3つの方法で書き込みを行った。

【0179】 (1) TMR素子に1 mAのスピントル電流を注入しながら、ワードライン152および第2ワードライン156に10 nsecの電流パルスを流して磁気抵抗比115の容易軸方向および困難軸方向に電流磁場を印加する方法。

【0180】 (2) TMR素子へのスピントル電流の注入の

みを行う方法。

【0181】(3) ワードライン152および第2ワードライン156に10nsecの電流パルスを送り、磁気記録層115の容易軸方向および困難軸方向に電流磁場を印加する方法。

【0182】なお、磁気記録層115の困難軸方向に電流磁場を印加するための電流パルスは10nsec、3mA一定とした。

【0183】磁気記録層115の磁化反転は、書き込みを行った後、TMRセルに直流電流を流し、出力電圧が変化したかどうかにより判断した。

【0184】本実施例における $0.4 \times 0.4 \mu\text{m}^2$ というサイズのTMR素子に対しては、(2)のTMR素子へのスピン電流の注入のみを行う方法では、電流値が 1.0mA まで増加しても、磁化反転は観測されなかった。(3)の磁気配線115の容易軸方向および困難軸方向に電流磁場を印加する方法では、磁気記録線115の磁化反転を起こすためには、磁気記録線115の容易軸方向に電流磁場を印加するための電流を、 3mA まで増加させる必要があった。

【0185】これに対して、(1)の方法で、1mAのスピンスピン電流を流しながら、磁気記録層115の容易軸方向に電流磁場を印加するための電流を増加させたところ、2.6mAの電流値で磁気記録層115の磁化反転が観察された。また、磁気記録層115の容易軸方向に電流磁場を印加する際の電流の向き、およびTMR素子に流すスピンスピン電流の向きを要えることによって、上記のような小さな電流値のままで磁気記録層115の磁化反転を繰り返すことができることがわかった。

【0186】このように、本実施例のMRAMの構造および書き込み方法を採用すれば、スピン注入に適した層逆を有し、電流駆動を抑制するための配線に流す電流およびTMR素子に流す電流を小さくできる。したがって、MRAMの高密度化に伴って配線幅およびTMR素子サイズが小さくなっても、配線の溶融またはトンネル障壁の破壊や抑制することができ、信頼性を向上させることができる。

【0187】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の強磁性二重トンネル接合を有する磁気抵抗効果素子では、所望の出力電圧値を得るために印加電圧値を増やしても磁気抵抗変化率があまり減少せず、書き込みによって磁化固着層の一部の磁気モーメントが回転して出力が徐々に低下するということも問題もなく、しかも反転磁場を自由に設定でき

る。また、MRAMの高密度化に伴って配線幅およびTMR葉子サイズが小さくなっても、配線の用途またはトンネルバリア層の破壊を抑制することができ、信頼性を向上できる。したがって、大きな出力電圧が安定して得られる微細な磁気抵抗効果葉子を提供でき、磁気抵抗効果型ヘッド、境界センサー、磁気記憶素子などに適応

用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の磁気抵抗効果素子の基本構造を示す断面図。

【図2】本発明の第2の磁気抵抗効果素子の基本構造を示す断面図。

【図3】本発明の第3の磁気抵抗効果素子の基本構造を示す断面図。

【図4】本発明の第4の磁気抵抗効果素子の基本構造を示す断面図。

【図5】本発明の第4の磁気抵抗効果素子の變形例の基本構造を示す断面図。

【図6】MOSトランジスタと強磁性二重トンネル接合素子とを組み合わせたMRAMの等価回路図。

【図7】強磁性二重トンネル接合素子のピン層がビットラインの一部を構成する、図6のMRAMの断面図。

【図8】ダイオードと強磁性二重トンネル接合素子とを組み合わせたMRAMの等価回路図。

【図9】強磁性二重トンネル接合素子のピン層がビットラインの一部を構成する、図8のMRAMの断面図。

【図10】本発明の他のMRAMに用いられる強磁性二重トンネル接合素子の断面図。

【図11】本発明の他のMRAMに用いられる強磁性二重トンネル接合素子の断面図。

【図12】本発明の他のMRAMに用いられる強磁性二重トンネル接合素子の断面図。

【図13】本発明に係るMRAMの例を示す断面図。

【図14】本発明に係るMRAMの他の例を示す断面図。

【図15】本発明に係るトンネル接合型磁気抵抗効果素子を含む磁気抵抗効果ヘッドを搭載した磁気ヘッドアセンブリの概観図。

【図16】図15に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気ディスク装置の内部構造を示す斜視図。

【図17】実施例1の試料AおよびBの磁気抵抗効果曲線を示す図。

【図18】実施例1の試料A、BおよびCについて磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図19】実施例1の試料A、BおよびDについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図20】実施例2の試料AおよびBの磁気抵抗効果曲線を示す図。

【図21】実施例2の試料A、BおよびCについて磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図22】実施例2の試料A、BおよびDについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図23】実施例3の試料AおよびBの磁気抵抗効果曲線を示す図。

【図24】実施例3の試料A、BおよびCについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図25】実施例3の試料A、BおよびDについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

て磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図25】実施例3の試料A、BおよびDについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図26】実施例4の試料A、BおよびCについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図27】実施例4の試料A、BおよびDについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図28】実施例4の試料A、BおよびEについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図29】実施例5の試料A、BおよびFについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図30】実施例5の試料A、BおよびGについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図31】実施例5の試料A、BおよびHについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図32】実施例5の試料A、BおよびIについて、バルス磁場の反転回数と出力電圧との関係を示す図。

【図33】実施例7の試料T1、T2およびT3について、接合幅と磁気抵抗変化率との関係を示す図。

【図34】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図35】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図36】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図37】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図38】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図39】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図40】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図41】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図42】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図43】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図44】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図45】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図46】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図47】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図48】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図49】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

【図50】実施例7の試料T1、T2およびT3について、磁気抵抗変化率の印加電圧依存性を示す図。

39...第3の反強磁性層

40...磁気抵抗効果素子

41...第1の強磁性層

42...第1の誘電体層

43...第2の強磁性層

44...第1の非強磁性層

45...第3の強磁性層

46...第2の非強磁性層

47...第4の強磁性層

48...第2の誘電体層

49...第5の強磁性層

50...反強磁性層

60...トランジスタ

61...シリコン基板

62...ゲート電極 (読み出し用ワードライン)

62...63...ソース、ドレイン領域

71...書き込み用ワードライン

72...コンタクトメタル

73...下地層

74...ビットライン

80...ダイオード

81...下地層

91...ワードライン

92...ビットライン

101...下地層

102...第1の反強磁性層

103...第1の磁化固定層

104...第1の誘電体層

105...磁気配線層

106...第2の誘電体層

107...第2の磁化固定層

108...第2の反強磁性層

109...保護層

111...下地層

112...第1の反強磁性層

113...第1の磁化固定層

114...第1の誘電体層

05 115...磁気配線層

116...第2の誘電体層

117...第2の磁化固定層

118...第2の反強磁性層

119...保護層

10 121...下地層

122...第1の反強磁性層

123...第1の磁化固定層

124...第1の誘電体層

125...磁気配線層

15 126...第2の誘電体層

127...第2の磁化固定層

128...第2の反強磁性層

129...保護層

151...Si基板

20 152...ワードライン

153...金属配線

154...ビットライン

155...絶縁層

156...第2ワードライン

25 201...アクチュエーターアーム

202...サスペンション

203...ヘッドスライダ

204...リード線

205...電極パッド

30 211...磁気ディスク

212...スピンドル

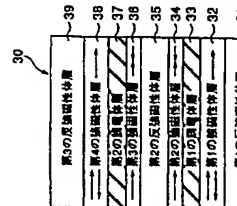
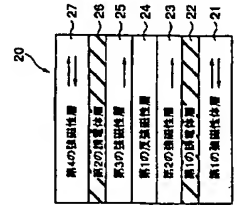
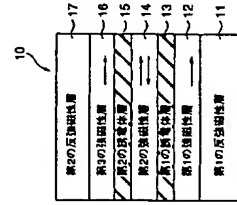
213...固定軸

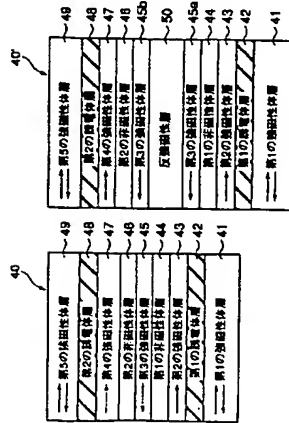
214...ボイスコイルモータ

【図1】

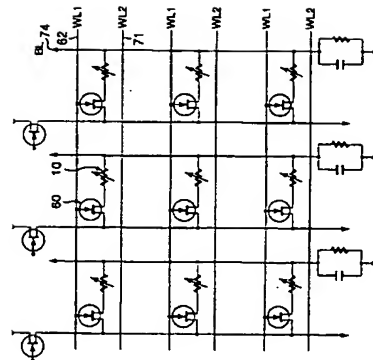
【図2】

【図3】

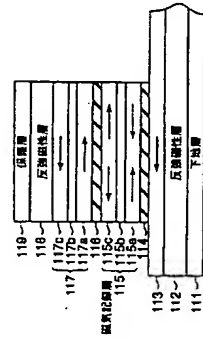




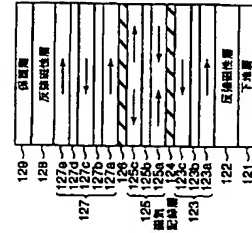
【图5】



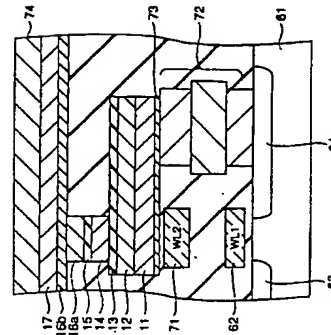
【图6】



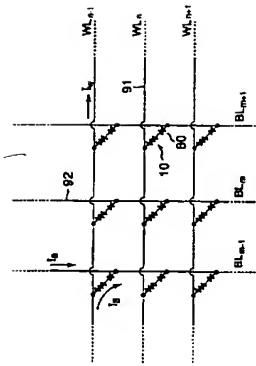
【图 12】



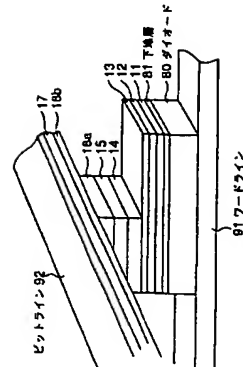
【例7】



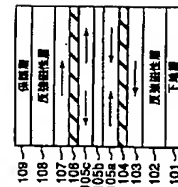
【88】



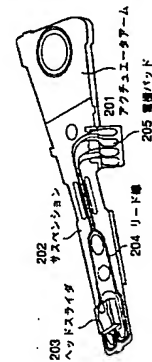
【图9】



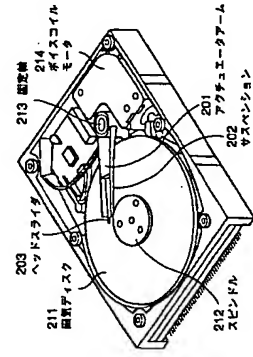
[10]



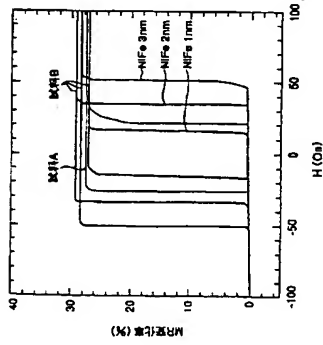
【图 15】



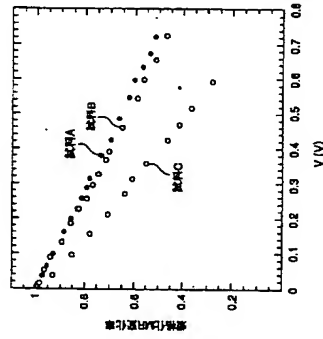
[图 16]



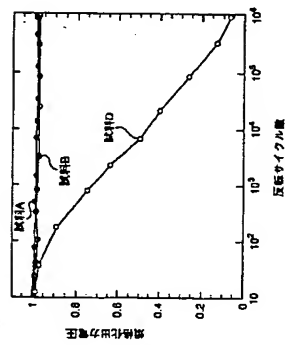
【図17】



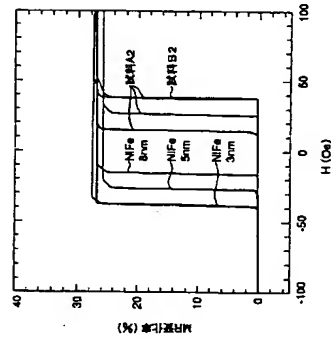
【図18】



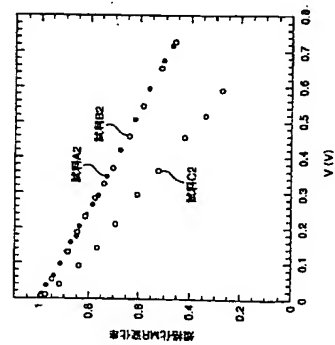
【図19】



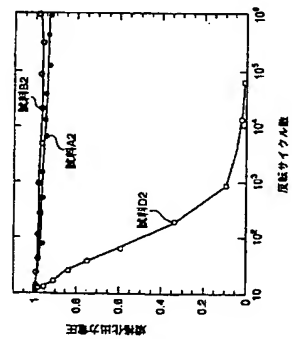
【図20】



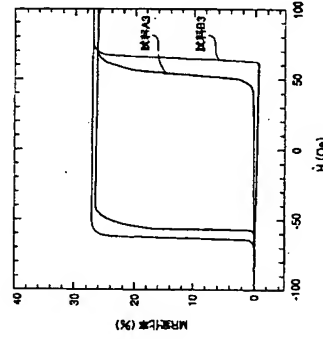
【図21】



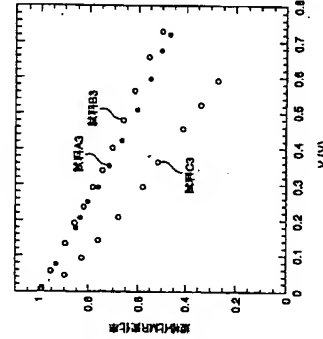
【図22】



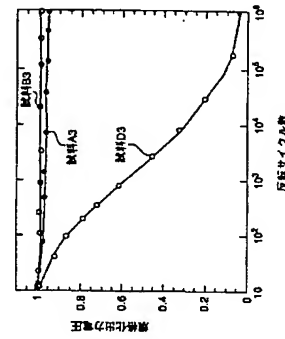
【図23】



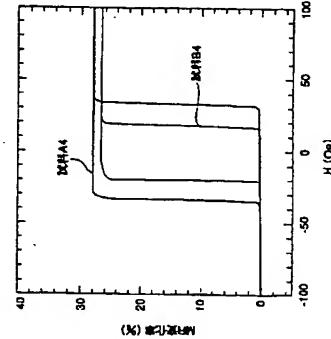
【図24】



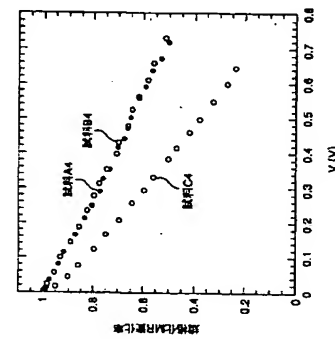
【図25】



【図26】



【図27】



【図28】

